

Antti Olenius

KAPSELIN KÄSITTELY LOPPUSIJOITUSLAITOKSESSA  
OHJAUKSEN JA VALVONNAN ESISUUNNITELMA

Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2016

# KAPSELIN KÄSITTELY LOPPUSIJOITUSLAITOKSESSA OHJAUKSEN JA VALVONNAN ESISUUNNITELMA

Olenius, Antti  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Helmikuu 2016  
Ohjaaja: Suvela, Timo  
Sivumäärä: 30  
Liitteitä: 2

Asiasanat: loppusijoitus, prosessi, automaatio

---

Opinnäytetyössä laadittiin kapselin käsittelyyn liittyvien toimintojen ohjauksen ja valvonnan esisuunnitelma rajatussa laajuudessa. Tarkoituksena oli muodostaa jokaiselle toiminnolle automaatiotasoa, sekä pyrkiä löytämään ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan tarpeet.

Opinnäytetyötä aloitettaessa havaittiin, että kapselin käsittelystä halutussa laajuudessa ei ollut laadittu riittävän tarkkaa prosessikuvausta jonka avulla olisi pystytty automaatiotasoa ja ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimuksia määrittelemään. Tästä syystä ensin laadittiin riittävän tarkka tekstimuotoinen prosessikuvaus, jonka avulla laadittiin taulukkolista prosessivaiheista. Tekstimuotoiseen prosessikuvaukseen kerättiin kaikki havainnot prosessista ja sen rajapinnoista. Tästä taulukkolistasta tehtiin automaatiokonseptin kartoitus ja arviointi.

Konseptin kartoitus ja arviointi tehtiin haastatteleamalla kapselin käsittelyn suunnitteluun liittyviä henkilöitä. Haastatteluiden tuloksena saadun konseptin kartoituksen ja arvioinnin perusteella työssä annettiin suositukset automaatiotasosta ja ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan tarpeista.

# PREPLAN OF CONTROL AND MONITORING FOR CANISTER HANDLING IN DISPOSAL FACILITY

Olenius, Antti

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in automation technology

February 2016

Supervisor: Suvela, Timo

Number of pages: 30

Appendices: 2

Keywords: final disposal, process, automation

---

The purpose of this thesis was to form a preplan for control and monitoring of canister handling. The work was limited to a specific sections of canister handling. Goal of the preplan was to establish automation level for each canister handling function and also to find higher level needs for surveillance and control.

In the beginning of this thesis, it was noticed that a process description that is sufficient enough for defining the requirements of automation level and higher level control and monitoring, was not available.

Due to this, a text-form process description was made to support making of a chartlist of process phases. All observations of the canister handling process and its interfaces were collected to the text-formed process description. This chartlist was used to make a mapping and evaluation of the automation concept.

Mapping and evaluation of the automation concept was done by interviewing personnel involved in designing the handling of canister. As a result of the interview, a concept mapping and evaluation was produced. Based on this result, recommendations and requirements of automation level and higher level control and monitoring were given.

## SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO.....   | 6  |
| 2     | TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS.....                                      | 7  |
| 2.1   | Työn tavoitteet .....   | 7  |
| 2.2   | Työn vaiheet.....   | 7  |
| 2.3   | Työn rajaus.....  | 8  |
| 3     | POSIVA OY.....  | 10 |
| 3.1   | Loppusijoituskonsepti .....   | 10 |
| 3.1.1 | Vapautumisesteet.....   | 10 |
| 4     | LOPPUSIJOITUSLAITOSKOKONAISUUS .....                                | 13 |
| 4.1   | Kapselointilaitos .....   | 13 |
| 4.1.1 | Kapselointilaitoksen toiminta.....                                  | 14 |
| 4.2   | Maanalainen loppusijoituslaitos.....                                | 16 |
| 4.2.1 | Maanalaisen loppusijoituslaitoksen toiminta .....                   | 17 |
| 5     | KAPSELIN KÄSITTELYN PROSESSIKUVAUKSEN LAADINTA .....                | 22 |
| 5.1   | Kapselin käsittelyprosessin läpikäynti .....                        | 23 |
| 5.2   | Automaatiokonseptin kartoitus ja arviointi.....                     | 24 |
| 5.2.1 | Automaatiotason asteikon määrittäminen.....                         | 26 |
| 5.2.2 | Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimukset.....               | 27 |
| 6     | HAASTATTELUJEN SUUNNITTELU .....                                    | 27 |
| 6.1   | Automaatiotason määrittäminen haastatteluissa .....                 | 28 |
| 6.2   | Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimusten selvittäminen..... | 29 |
| 7     | HAASTATTELUJEN TOTEUTUS JA TULOKSET .....                           | 29 |
| 8     | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....                                    | 29 |
|       | LÄHTEET.....  | 30 |
|       | LIITTEET  |    |

## TERMIT JA LYHENTEET

| Lyhenne | Selite   |
|---------|--|
| LST     | Loppusijoitustunneli   |
| LS      | Loppusijoitus  |
| NDT     | Non-destructive testing, ainetta rikkumatonta tarkastusta  |
| KapRe   | Loppusijoitusreiän tekemiseen suunniteltu laite, Rhino 500HSP  |
| KSAA    | Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo  |
| BIM     | Bentonite installation machine, puskurilohkojen asennuslaite   |
| BTD     | Bentonite transfer machine, puskurilohkojen siirtolaite  |
| TMA     | Täyttömateriaalin asennuslaite   |
| QFD     | Quality Function Deployment, asiakaslähtöinen laadun suunnittelu (Lakka, Laurikka & Vainio 1995, 10).  |
| RAMS    | Reliability (toimintavarmuus), Availability (käyttövarmuus), Maintainability (kunnossapidettävyyttä), Safety (turvallisuus) (Ahonen ym, 2012, 14). |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia Posiva Oy:n kehittämää loppusijoitusprosessia rajatussa laajuudessa, muodostaa jokaiselle toiminnolle automaatiotasoa, sekä pyrkiä löytämään prosessista ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan tarpeita.

Työ tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tutustuttiin loppusijoitusprosessista laadittuun prosessikuvaukseen ja sen perusteella laadittiin tarkempi toimintokohtainen prosessikuvaus rajatussa laajuudessa. Tämä työ tehtiin tutustumalla jo olemassa oleviin prosessikuvauksiin ja miettimällä mitä tulisi käytännössä tehdä, jotta prosessissa tehtävä toiminto tulisi tehtyä ja mitä rajapintoja toiminnolle kohdistuu.

Toisessa vaiheessa haastateltiin prototyypilaitteen projektipäällikköä ja suunnittelijoita. Haastatteluiden tarkoituksena oli käydä läpi prosessin vaiheet toimintokohtaisesti ja miettiä minkä tason automaatio olisi tarpeen toiminnon suorittamiseksi. Samalla pyrittiin tunnistamaan ylemmän tason valvonnan ja ohjauksen tarpeita kyseisessä prosessissa.

Työn tilaajana toimi Laitostekniikka- toiminnon päällikkö Petteri Vuorio.

## 2 TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS

### 2.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli tutkia Posiva Oy:n kehittämää loppusijoitusprosessia rajatussa laajuudessa (loppusijoituskapselin käsittely loppusijoituslaitoksessa), muodostaa jokaiselle toiminnolle automaatiotasoa, sekä pyrkiä löytämään prosessista ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan tarpeet.

Tavoitteena oli tehdä ehdotus automaatiotasosta loppusijoitusprosessin rajatussa laajuudessa. Ehdotusta on tarkoitus hyödyntää automaation jatkosuunnittelussa.

Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan toimintojen tunnistamiselle on tarvetta, kun laitostason automaatiosuunnittelu etenee ja loppusijoitusprosessin tarvitsemat ylemmän tason ohjaus- ja valvontatoiminnot on mahdollista viedä automaatiosuunnittelun lähtötiedoiksi.

### 2.2 Työn vaiheet

Työstä laadittiin tutkimus- ja projektisuunnitelma työn alkuvaiheessa ja se hyväksyttiin tilaajan edustajalla Petteri Vuoriolla.

Suunnitelmassa työ oli suunniteltu seuraavilla etapeilla:

Ensimmäisessä vaiheessa, vaiheessa 1, käydään läpi prosessikuvaus tehtäväkohtaisesti ja samalla laaditaan aikaisempaa tarkempi toimintokohtainen kuvaus Excel-taulukkolaskelma -ohjelmalla, johon eritellään toiminnot yksityiskohtaisesti vaiheen 2 mahdollistamiseksi.

Vaiheessa 1. tarkoituksena on tutustua loppusijoitusprosessin konseptin mukaisiin vaiheisiin, jotta opinnäytetyön tekijälle muodostuu kokonaiskuva prosessista ja toi-

minnot saadaan kuvattua sellaisella tarkkuudella, että automaatiotason määrittäminen olisi mahdollista.

Toisessa vaiheessa, vaiheessa 2, kun rajatun laajuuden työtehtävät on määritelty, haastatellaan prototyypilaitteen suunnittelijoita ja projektipäällikköä sekä arvioidaan ja määritellään, mitä vaatimuksia laitteiden muut vaatimukset asettavat ylemmän tason ohjaus- ja valvontajärjestelmälle.

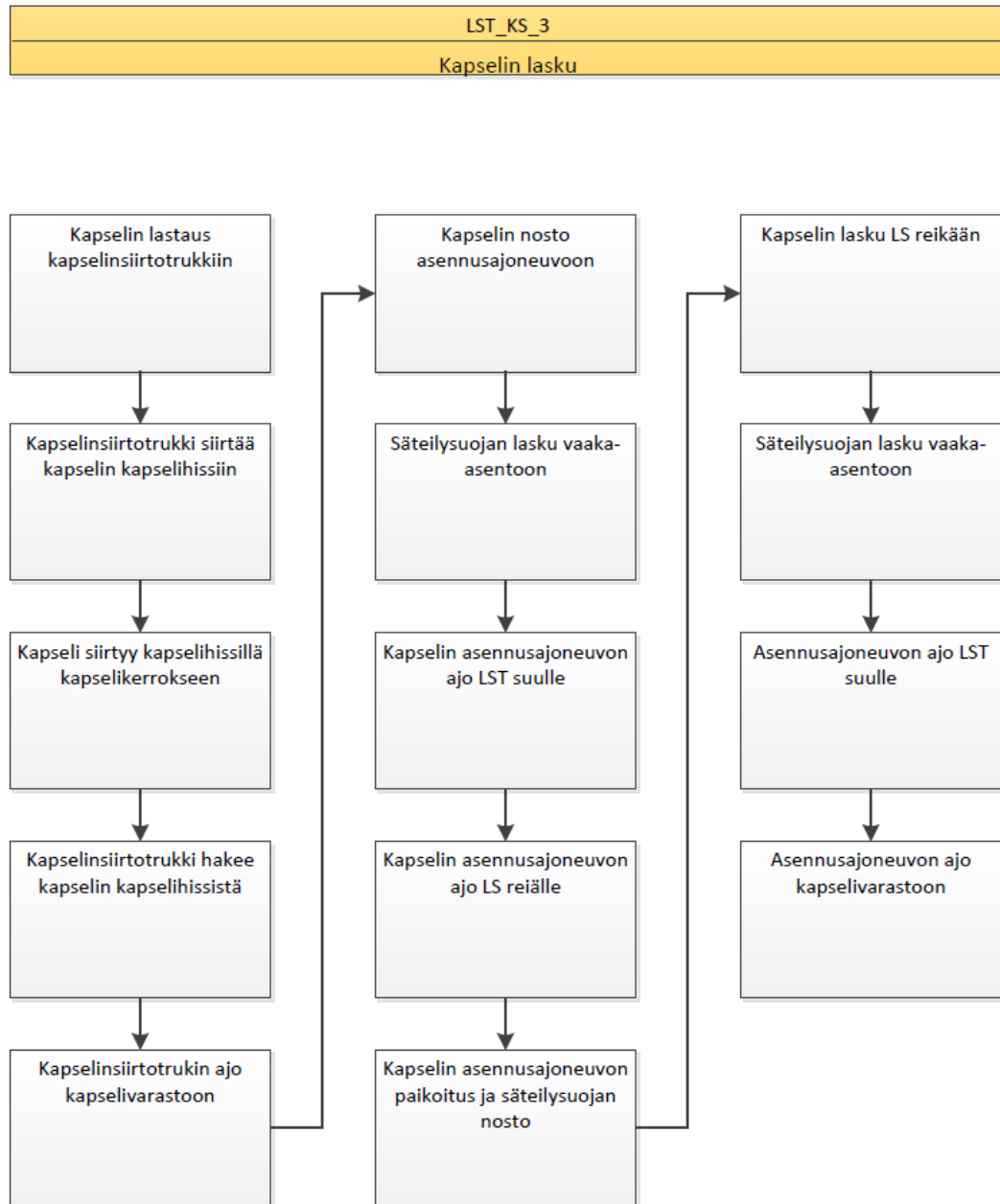
Tässä vaiheessa pyritään myös määrittelemään, mitkä ovat prosessin eri vaiheiden automaatiotasot eli tehdäänkö työ manuaalisesti operaattorin ohjaamana, täysin automaattisesti vai semiautomaattisesti operaattorin hyväksymänä.

Kolmannessa vaiheessa kootaan asiat yhteen ja kirjoitetaan opinnäytetyö raportin muotoon.

### 2.3 Työn rajaus

Työ rajattiin koskemaan loppusijoitusprosessista ainoastaan kapselin käsittelyä, joka on prosessikaaviossa (kuva 1.) osa Kapselin lasku LS\_KS3. Tässä opinnäytetyössä käsitellään loppusijoituskapselin lähetys maan päällisestä kapselointilaitoksesta maanalaiseen loppusijoituslaitokseen ja loppusijoituskapselin käsittelyprosessi maanalaisessa loppusijoituslaitoksessa.





Kuva 1. Työn rajaus loppusijoitusprosessista.

### 3 POSIVA OY

Posiva on asiantuntijaorganisaatio, jonka vastuulla on omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus, loppusijoituksen tutkimukset, sekä muut toimialaansa liittyvät asiantuntijatehtävät. Posiva on myynyt osaamistaan muille alan toimijoille vuodesta 2015 alkaen. (Posivan Internet-sivut 2015.)

#### 3.1 Loppusijoituskonsepti

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen lähtökohta on, että siitä ei aiheudu vaaraa elolliselle luonnolle. Teollisuuden Voiman ja Fortumin ydinvoimaloiden käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan kuparista valmistetuissa loppusijoituskapseleissa Olkiluodon peruskallioon yli neljänsadan metrin syvyyteen. (Posivan internetsivut 2015.)

Posivan loppusijoituskonsepti perustuu KBS-3-konseptiin, joka on Ruotsin ydinjätehuolto-yhtiön SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB) kehittämä. Posivalla pääasialliseksi toteutustavaksi on suunniteltu KBS3-V periaate, eli pystysijoitusratkaisu (kuva 3). Toinen mahdollinen vaihtoehto on KBS-3H, jota kutsutaan vaakasijoitusratkaisuksi. Tämä opinnäytetyö käsittelee kapselin käsittelyä pystysijoitusratkaisussa. (Posivan internetsivut 2015.)

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskonseptin kantavana ajatuksena on monies-teperiaate. Radioaktiiviset aineet ovat useiden toisiaan varmentavien vapautumises-teiden sisällä siten, että yhden esteen vajavuus tai ennustettavissa oleva geologinen tai muu muutos ei vaaranna konseptin toimivuutta. Vapautumisesteiden avulla hoide-taan, että käytetystä ydinpolttoaineesta mahdollisesti vapautuvia päästöjä ei joudu luonnon ekosysteemiin. Yhden esteen toimimattomuus tai ennustettavissa oleva geo-loginen tai muu muutos ei riskeeraa konseptin toimivuutta. (Posivan internetsivut 2015.)

### 3.1.1 Vapautumisesteet

Vapautumisesteitä ovat polttoaineen olomuoto, loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, tunneleiden täyte, sekä ympäröivä kallio. (Posivan internetsivut 2015.)

Loppusijoituskapseli: Polttoaine kapseloidaan kaasutiiviiseen kuparista ja valuraudasta valmistettuun loppusijoituskapseliin, joka on korroosion kestävä ja turvaa polttoainetta kalliosta aiheutuville mekaanisille voimille. (Posivan internetsivut 2015.)

Jokaiselle polttoaineelle (OL1-2, LO1-2, OL3) on oma loppusijoituskapselityyppinsä. Kapselin ulkohalkaisija on tyypistä riippumatta 1,05 m, mutta kapselin kokonaispituus vaihtelee. OL1-2 laitoksen kapseli on 4,75 m pitkä ja painaa 24,5 t, kun taas LO1-2 laitoksen kapseli on 3,55 m pitkä ja painaa 18,8 t. (Palomäki & Ristimäki, 2015, 80-82.)

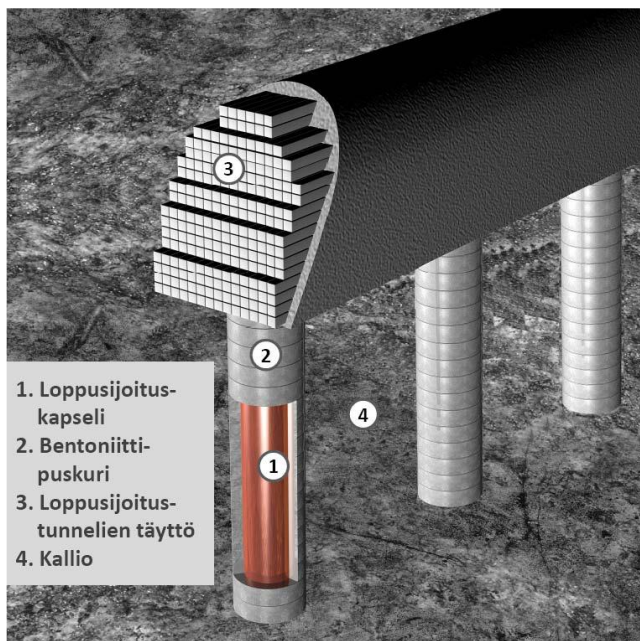
Loppusijoituskapselin sisärakenne on valamalla valmistettu pallografiittivalurautainen integroitu osa (kuva 2). Sisäosan tarkoituksena on muun muassa toimia kapselin kuormaa kantavana osana ja polttoaine- elementtien sijoitustelineenä. Kokonaisuuteen kuuluu rautainen sisäkansi. Sisäkansi kiinnitetään sisäosaan M30 ruuvilla. Kapselin sisärakennetta ympäröi kauttaaltaan 50 mm paksuinen kuparinen päällysvaippa ja kuparikansi. Kuparikannessa on nostoapuvälineen tarttumista varten ympyrän muotoinen nosto-olake. Kuparivaipasta, sekä rautasisäosasta muodostuu lieriön muotoinen säiliö. (Palomäki & Ristimäki, 2015, 82.)



Kuva 2. Loppusijoituskapseli ja rautainen sisäosa kansineen (Palomäki&Ristimäki 2013, 83).

Bentoniittipuskuri: Loppusijoituskapselin ympärille asennetaan bentoniittisavesta valmistetut puskurilohkot, jotka suojaavat loppusijoituskapselia kallion liikkeiltä. Samoin bentoniittipuskurin on tarkoitus vähentää mahdollisen veden liikkumista kapselin läheisyydessä (kuva 3). (Posivan internetsivut 2015.)

Peruskallio: Olkiluodon peruskalliossa on kapselille ja bentoniitille suotuisat olosuhteet. Syväälle peruskalliossa sijoitettuina kapselit ovat turvassa maanpinnalta tulevilta muutoksilta kuten esimerkiksi tulevilta jääkausilta. Samalla käytetty ydinpolttoaine on loitolla ihmisten normaalista elinympäristöstä. (Posivan internetsivut 2015.)



Kuva 3. KBS-3V konseptin vapautumisesteet (Posivan internetsivut 2015).

## 4 LOPPUSIJOITUSLAITOSKOKONAISUUS

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa käytetyt ydinpolttoaineput kapseloidaan kuparikapseleihin ja sijoitetaan pysyväksi tarkoitettulla tavalla Eurajoen kallioperään. Posivan loppusijoituslaitoskokonaisuus koostuu kahdesta ydinjätelaitoksesta, jotka ovat:

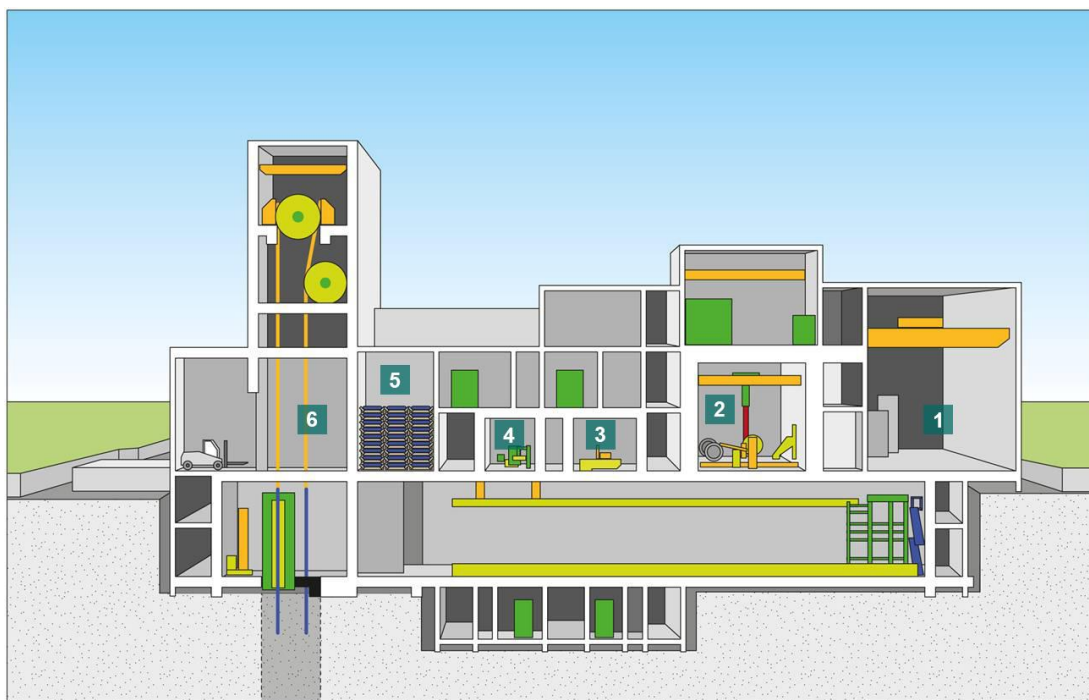
- maanpäällinen kapselointilaitos, jossa otetaan vastaan Posivan omistajien käytetty ydinpolttoaine ja pakataan se loppusijoituskapseleihin ja
- maanalainen loppusijoituslaitos, joka koostuu loppusijoitusrei'istä ja -tunneleista, keskustunneleista ja teknisistä aputiloista.

Posivan maanpäällisellä laitosalueella sijaitsee myös monia muita loppusijoitustoimintaa palvelevia rakennuksia, kuten ilmanvaihtorakennus, nostinlaiterakennus, tunnelitekniikkarakennus, huolto- ja varastohalli, tutkimushalli, ynnä muita.

### 4.1 Kapselointilaitos

Kapselointilaitos koostuu seuraavista tiloista:

1. Vastaanottotila
2. Polttoaineen käsittelykammio
3. Kannen hitsausasema
4. Hitsin tarkastuspaikka
5. Kapselin pinnan puhdistuspaikka
6. Kapselihissi kapselien siirtämiseksi loppusijoitustilaan



Kuva 4. Kapselointilaitoksen leikkauskuva (Posivan internetsivut 2015).

Kapselointilaitoksen suunniteltu kapselointitehokkuus on noin 40 kapselia vuodessa, mutta maksimi kapselointitehokkuus on 100 kapselia vuodessa. Kapselointilaitos on kytketty maanalaiseen loppusijoituslaitokseen kapselikuilun välityksellä. Kapseli kuljetetaan kapselihissillä alas loppusijoitustasolle yli 400m syvyyteen. (Palomäki&Ristimäki 2013, 53).

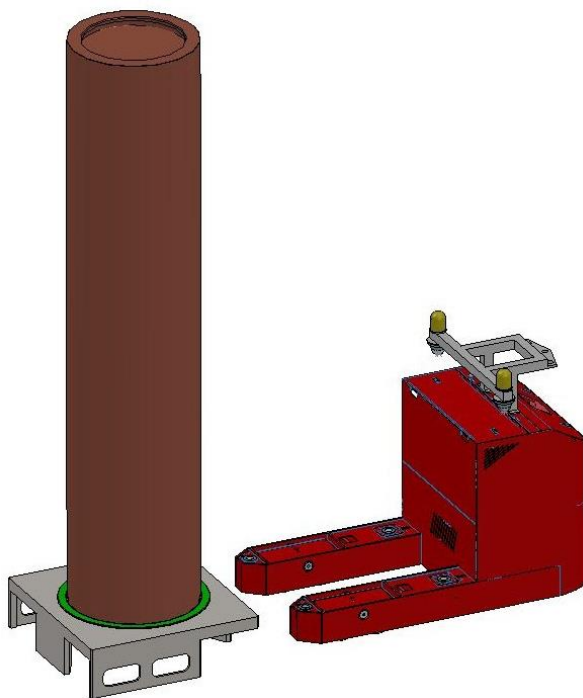
#### 4.1.1 Kapselointilaitoksen toiminta

Loppusijoitusprosessi alkaa siitä, kun käytetty ydinpolttoaine lähtee käytetyn polttoaineen varastolta kohti kapselointilaitosta. Käytetty polttoaine saapuu siirtosäiliössä kapselointilaitoksen vastaanottotilaan. Myös loppusijoituskapselit, sekä kapselien kannet otetaan vastaan kapselointilaitoksella. (Posivan internetsivut 2015.)

Siirtosäiliö ja kapseli siirretään erillisillä siirtolaitteilla kapselointilaitoksen polttoaineen käsittelykammioon, jossa käytetty ydinpolttoaine siirretään kuivauksen kautta loppusijoituskapseliin. Kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on siirretty siirtosäiliöstä kapseliin, täytetään loppusijoituskapseli argon-kaasulla ja suljetaan kapselin teräksinen sisäosa teräksisellä kannella. (Posivan internetsivut 2015.)

Kun kapseli on täytetty, siirretään kapseli käsittelykammiosta hitsausasemaan, jossa kapseli ja erillinen kuparinen kansi hitsataan yhteen kitkatappihitsauksena. Tämän jälkeen hitsi tarkastetaan usealla eri NDT-menetelmällä sen laadun varmistamiseksi.

Kun kapseli on hitsattu, lasketaan kapseli paletin päälle, jonka jälkeen siirretään kapselinsiirtotrukilla kapseli ja paletti kapselointilaitoksen välivarastoon tai suoraan kapselihissiin, joka siirtää kapselin ja paletin maanalaiseen loppusijoituslaitokseen. (Palomäki&Ristimäki 2013, 90).

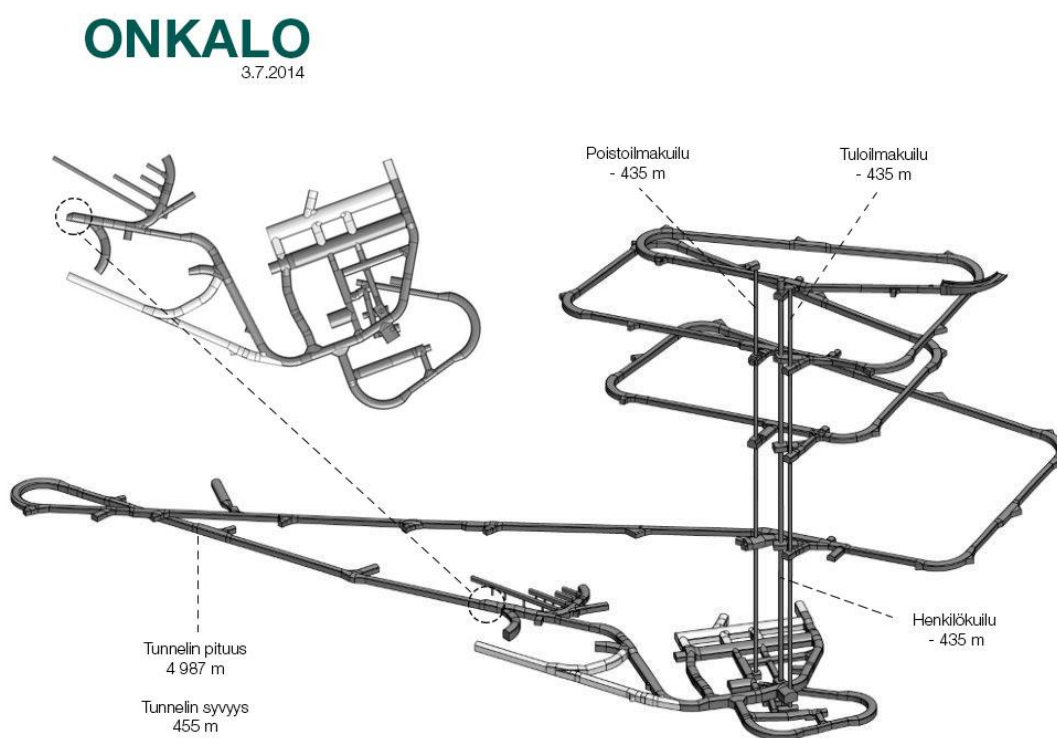


Kuva 5. Paletti, jonka päällä on loppusijoituskapseli, sekä kapselinsiirtotrukki (Palomäki&Ristimäki 2013, 91).

## 4.2 Maanalainen loppusijoituslaitos

Maanalainen loppusijoituslaitos koostuu loppusijoitustiloista, näitä yhdistävistä keskustunneleista, ajotunnelista, pystykuiluista sekä teknisistä tiloista. Loppusijoitustiloihin lasketaan myös loppusijoitustunnelit ja -reiät.

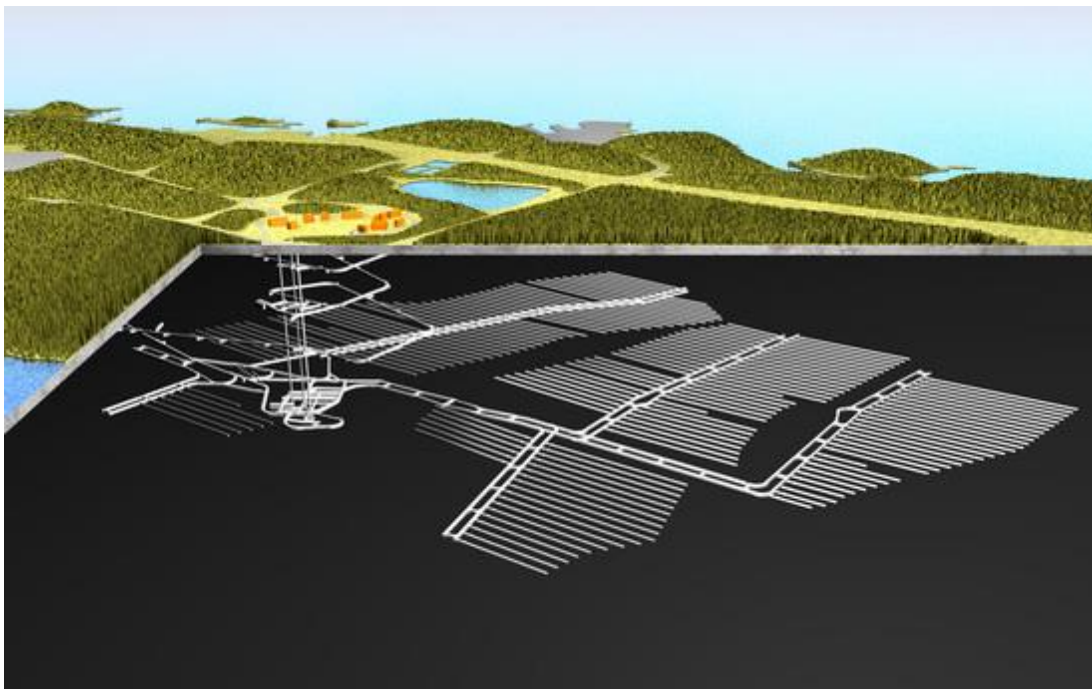
Maanalaisen loppusijoituslaitoksen laajuuteen kuuluu jo louhittu maanalainen tutkimustila, ONKALO, Kuva 6. ONKALO koostuu ajotunnelista, teknisistä tiloista sekä erinäisistä tutkimustiloista. ONKALO:n laajuuteen ei kuulu loppusijoitustiloja.



Kuva 6. ONKALO:n laajuus 3.7.2014 (Posivan internetsivut 2015).

Suunniteltu loppusijoitustilojen layout on esitetty kuvassa 7. Loppusijoitustiloja tullaan louhimaan vaiheittain, mikä tarkoittaa että koko loppusijoituksen laajuutta ei louhita kerralla valmiiksi, vaan louhinta ja loppusijoitus etenevät vaiheittain. Loppusijoitusreiät porataan siihen erikseen suunnitellulla KapRe loppusijoitusreiän poralaitteella.

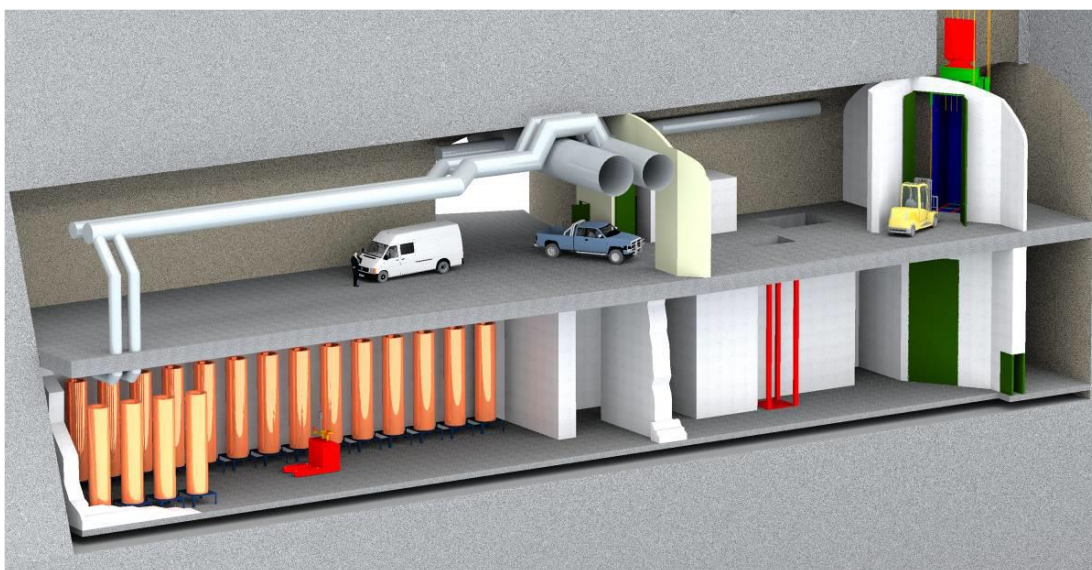




Kuva 7. Maanalaisten tilojen suunniteltu layout. (Posivan internetsivut 2015).

#### 4.2.1 Maanalaisen loppusijoituslaitoksen toiminta

Loppusijoituskapseli ja paletti, (kuva 5) siirretään kapselihissillä maan pinnalla sijaitsevalta kapselointilaitokselta maanalaiseen loppusijoituslaitokseen. Paletti, jonka päällä kapseli on, siirretään kapselihissiin (kuva 4, positio 6) ja pois kapselihissistä kapselinsiirtotrukilla. Kapselin maanalainen vastaanottotilan suunnitelma esitetään kuvassa 8.

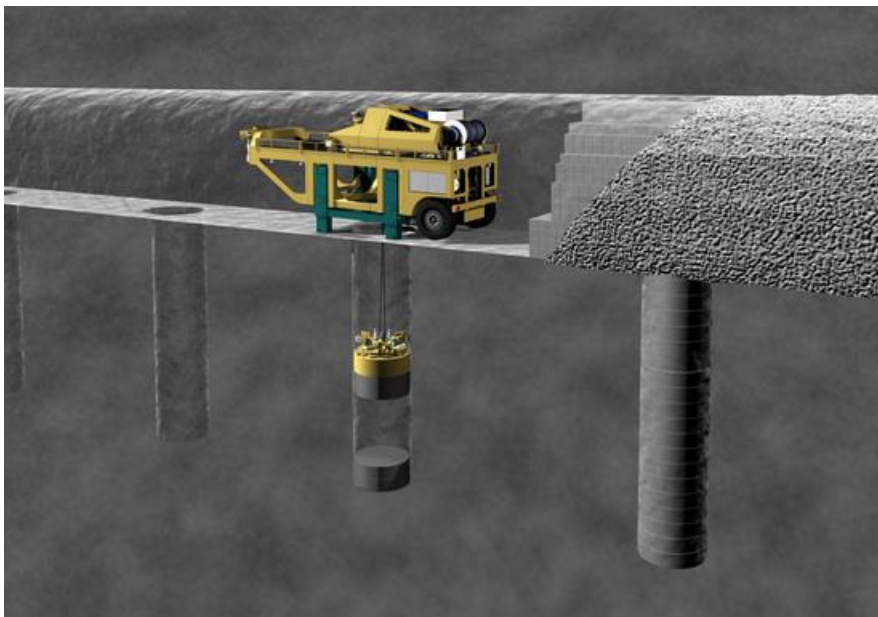


Kuva 8. Kapselin vastaanottotila ja kapselivarasto maan alla. (Palomäki&Ristimäki 2013, 92).

Kapseli siirretään kapselinsiirtotrukin avulla vastaanottotilan alemmalla tasolla joko kuvassa 8 vasemmalla näkyvään välivarastoon tai kuvassa 8 keskellä näkyvään kapselin lastausasemaan. Äärioikealla kuvassa 8 on kapselihissi ja sen vasemmalla puolella kapselin lastausasema. Lastausasemalta kapseli voidaan nostaa kerrosta ylemmällä tasolla olevan kapselin siirto- ja asennusajoneuvon (KSAA) säteilysuojan sisään. KSAA odottaa loppusijoituskapselia säteilysuoja pystyasennossa saatonostimen yläpuolella. Kapseli nostetaan säteilysuojan sisään KSAA:n kapselin käsittelyjärjestelmän avulla. Kapselin nostoa varmistetaan kapselin alapuolella lastausasemassa olevalla saatonostimella. Näin voidaan varmistaa kapselin nosto kahdella erillisellä nostolaitteella. Kun kapseli on nostettu säteilysuojan sisään, säteilysuoja käännetään vaaka-asentoon. Tämän jälkeen KSAA siirtää kapselin loppusijoitustunneliin ja asentaa haluttuun loppusijoitusreikään. (Palomäki&Ristimäki 2013, 92-93).

Ennen kapselin asennusta, loppusijoitusreikä valmistellaan tarkastamalla ja kuivaamalla loppusijoitusreikä, sekä asentamalla kapselia suojaavat puskurilohkot. (Palomäki&Ristimäki 2013, 93-94).

Puskurilohkot asennetaan loppusijoitusreikään erikseen tähän tarkoitukseen suunnitellulla ja valmistetulla asennuslaitteella. Asennuslaitteesta on valmistettu prototyyppi, jota kutsutaan nimellä Bentonite Installation Machine, (BIM). Loppusijoitusreikään asennetaan ensimmäisenä kiekon muotoinen pohjalohko, jonka päälle asennetaan renkaan mallisia lohkoja kapselin oletetun yläpinnan tasolle asti. Rengaslohkojen määrä (4-6 kpl) vaihtelee kapselityypin mukaan. Rengaspuskurilohkojen ulkohalkaisija on 1650 mm ja korkeus 500 mm. (Palomäki & Ristimäki 2013, 96). Kuvassa 9 näkyy periaatekuva siitä, miltä BIM voisi näyttää työskennellessään loppusijoitustunnelissa.



Kuva 9. Kuvituskuva puskurin asennuslaitteesta loppusijoitustunnelissa. (Posivan internetsivut 2015).

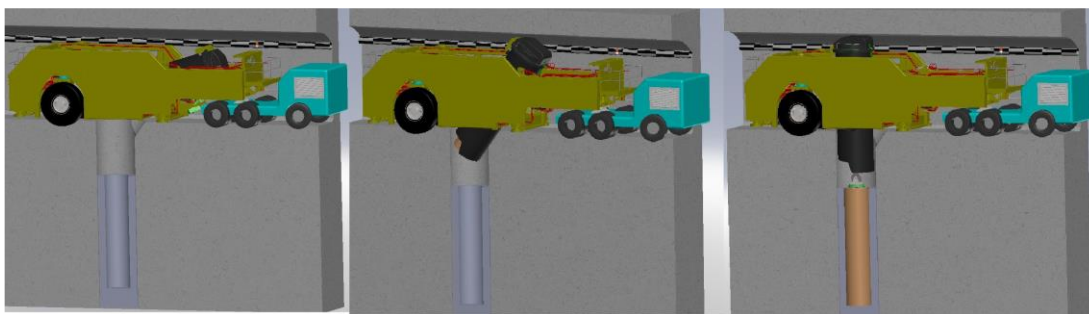
Kapseli asennetaan loppusijoitusreikään KSAA:n avulla. Ajoneuvoyhdistelmä koostuu terminaalitraktorista sekä KSAA:sta (kuva 10). KSAA on hinattava puoliperävaunu-tyyppinen kapselin siirto- ja asennuslaite. Yhdistelmä painaa yli 100 tonnia.



Kuva 10. Kapselin asennuslaitteen KSAA:n prototyyppi ja terminaalitraktori. (Posivan internetsivut 2015).

Kapselin asennuksessa, yhdistelmä peruutetaan loppusijoitustunneliin ja paikoitetaan loppusijoitusreiän päälle. Kun KSAA on karkeasti paikoitettu loppusijoitusreiän päälle, nostetaan KSAA tukijalkojen varaan ja vetotraktori irroitetaan KSAA:sta.

Seuraavaksi KSAA hienopaikoitetaan tarkasti loppusijoitusreiän päälle ja säteilysuoja käännetään pystyasentoon. Alla olevassa kuvassa 11, näkyvät kapselin asennuksen vaiheet, sillä erolla, että kuvasarjassa ei terminaalitraktoria ole irroitettu KSAA:sta.



Kuva 11. Kapselin asennus loppusijoitustunnelissa. (Palomäki&Ristimäki 2013, 98).

Kun kapseli on laskettu onnistuneesti loppusijoitusreikään, nostetaan tarttuja ylös, käännetään säteilysuoja vaaka-asentoon, kiinnitetään terminaalitraktori KSAA:han, nostetaan tukijalat ylös kuljetusasentoon ja vedetään yhdistelmä pois terminaalitraktorilla loppusijoitustunnelista.

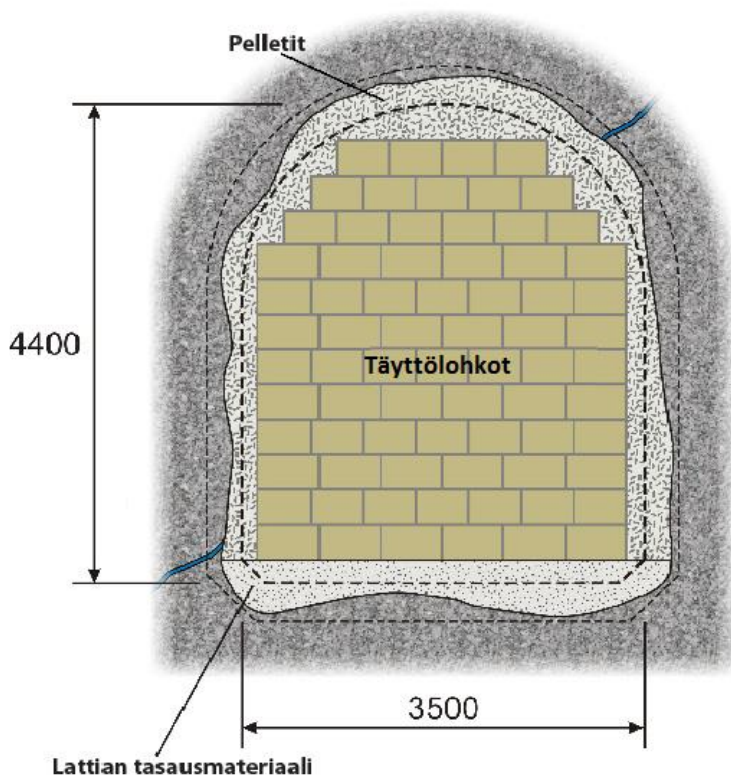
Kun kapseli on asennettu onnistuneesti, tuodaan puskurilohkojen asennuslaite (BIM) takaisin täytettävän loppusijoitusreiän päälle ja kapselin yläpuolelle asennetaan viimeiset puskurilohkot.

Kun suunniteltu määrä loppusijoituskapseleita on asennettu loppusijoitusreikiin ja loppusijoitusreiät on täytetty, aloitetaan loppusijoitustunnelin täyttö. Täyttöä edeltää loppusijoitustunnelin varustuksen purku, jolloin mm. valaistus, ilmanvaihtotarvikkeet yms. puretaan ja kuljetetaan maan päälle, poistetaan mahdollinen lattiarakenne sekä asennetaan lattian tasauserros. Lopullinen lattian tasauserros tehdään bentoniittipelleleistä. Tämän jälkeen loppusijoitustunneli täytetään täyttömateriaalin asennuslaitteella, lyhenteeltään TMA.



Kuva 12. Tunnelin täyttömateriaalin asennuslaitteen prototyyppi (TMA). (Posivan internetsivut 2015).

Tunnelin täyttömateriaalin asennuslaite (TMA) asentaa paikoilleen 330\*550\*470 mm kokoisia ja noin 230 kg painoisia savitäyttölohkoja automaattisyklillä ja puhalttaa pellettitäytön kallion sekä täyttörintaman väliseen rakoon tasaisin väliajoin. Kun täyttö on saatu tehtyä, lopputulos näyttää kuvan 13 kaltaiselta.



Kuva 13. Täyttörintama ja loppusijoitustunnelin mitat. (Palomäki&Ristimäki 2013, 100).

Alustavasti on suunniteltu, että tunnelia täytetään vuorotellen kapselin, puskurin ja täyttölohkojen asennuksen kanssa niin, että ensin asennetaan neljä kapselia puskurineen, jonka jälkeen tunnelia täytetään noin 40 metriä matkalta savilohkoilla ja -pelleteillä. (Palomäki&Ristimäki 2013, 102).

## 5 KAPSELIN KÄSITTELYN PROSESSIKUVAUKSEN LAADINTA

Tässä työssä tehtävänä oli määrittellä loppusijoituskapselin käsittelyyn loppusijoituslaitoksessa haluttu automaation taso sekä ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimukset. Molempien tehtävien kohdalla osoittautui jo työn alkuvaiheessa, että Posivalla ei ole kapselin käsittelystä loppusijoituslaitoksessa tarkkaa prosessikuvausta, jossa olisi kuvattu prosessin eri vaiheet ja lähtötiedot automaatiotason arviointiin tai määrittelyyn. Samoin todettiin myös olevan ylemmän tason vaatimusten kanssa.

Kun tarkkaa kapselin käsittelyn prosessikuvausta ei ollut saatavilla, työ tehtiin sillä tarkkuudella mikä oli mahdollista jo olemassa olevien tietojen perusteella. Lähtöaineistona työssä käytettiin Posivalle tehtyä prosessikuvausta, Kapselointilaitoksen prosessin kuvaus ja analysointi v. 2013, POS-021988. Posivan prototyypikoneprojekteissa tekemäni työn perusteella omasin myös henkilökohtaisen näkemyksen siitä, miten kapselin käsittely loppusijoitustiloissa olisi käytännössä mahdollista toteuttaa.

### 5.1 Kapselin käsittelyprosessin läpikäynti

Kapselin käsittelyprosessin läpikäynti aloitettiin tutustumalla olemassa olevaan prosessikuvaukseen (Kapselointilaitoksen prosessin kuvaus ja analysointi v. 2013). Tässä työssä käsitellään ja läpikäynnissä käsiteltiin tiettyä osaa kapselin koko käsittelyprosessista. Prosessiosa on esitetty kuvassa 1. Prosessikuvauksen perusteella laadittiin tekstimuotoinen kuvaus prosessiosasta ja niistä toiminnoista, mitä siinä prosessiosassa käytännössä tapahtuu. Vaiheen tarkoituksena oli tutustua aikaisempaa syvemmin prosessiosaan ja tunnistaa sieltä käytännön toiminnot, mahdolliset ohjauspaikat sekä järjestelmän eri osien rajapinnat. Työn tuloksena syntyi noin 30-sivuinen asiakirja, josta esimerkkinä kuvan 14 mukainen prosessin osa: LST\_KS\_3\_6 Kapselin lastausasennusajoneuvoon.

Tekstimuotoiseen prosessikuvaukseen on kerätty myös huomioita, ajatuksia ja muuta tarpeellista tietoa prosessista. Tekstimuotoista prosessikuvausta ei itsenäisenä dokumenttina olisi ollut välttämätöntä laatia, mutta ilman sitä olisi varmasti moni osa kapselin käsittelystä loppusijoituslaitoksessa jäänyt huomaamatta. Prosessikuvauksen kirjoittaminen antoi myös hyvän kokonaiskuvan siitä, miten kapselin käsittelyprosessi on suunniteltu toimivan sekä mitä toimintoja tarvitaan prosessin kokonaisvaltaiseen toteutukseen.

#### 4.6 LST\_KS\_3\_6 Kapselin nosto asennusajoneuvoon

##### 4.6.1 Työn kuvaus

Kapseli ja paletti siirretään siirtotrukilla saattonestimen kyytiin, josta kapselin siirto- ja asennusajoneuvo voi nostaa sen kyytiin. Tätä ennen, on kapselin siirto- ja asennusajoneuvo noudettu varastosta. Tämän jälkeen ajoneuvo kytketään sähkö- (ja mahd tiedonsiirto) verkkoon, siirretään nostoreiän päälle, ajoneuvo karkeapaikoittaa itsensä nostoreiän päälle ja etäohjauspaikasta lasketaan tukijalat alas. Tämän jälkeen KSAA irroitetaan terminaalitraktorista (ja mahd traktori siirretään pois lastaustilasta jos säteily on ongelma?). Seuraavaksi KSAA hienopaikoittaa itsensä, kääntää säteilysuojan pystyasentoon luudelleen hienopaikoittaa itsensä, laskee tarraimen alas, tarttuu kapselista kiinni ja nostaa kapselin ylös saattonestimen avittamana. Tämän jälkeen siirtotrukki siirtää paletin odottamaan. **Vai onko tässä niin että siirtotrukki siirtää kapselin saattonestimeen? ref: Canister production line report 2012**  
**Onko tarvetta laadun varmistustoiminnoille, esim kapselin pinnan tarkastus?**

**Kommentti [AO17]:** Onko tämä mahdollista tehdä lastaustilassa? Onko säteilytilassa ongelma? Lopullinen laite hoidetaan todnak omalla voimavaroilla jolloin kaapit ohmat jää pois.

**Kommentti [AO18]:** TIAJ huomio

##### 4.6.2 Työn ohjauspaikka

Siirtotrukkia ohjataan kapselointilaitoksen ohjaamosta. Työssä joudutaan ohjaamaan kahta järjestelmää, siirtotrukkia sekä kapselin siirto- ja asennusajoneuvoa yhtäaikaisesti. KSAA:ta ohjataan etäohjauspaikasta yhteistyössä kapselointilaitoksen ohjaamon kanssa. Kapselointilaitoksen ohjaamosta operoidaan siirtotrukkia etäohjauksena. Kapselointilaitoksen ohjaamon ja etäohjauspaikan välissä tulisi olla puheytteys. Saattonestimen ohjaus on suunniteltu KSAA:n ohjausjärjestelmän tehtäväksi.

**Kommentti [AO19]:** Mahdollisesti KSAA:n ohjaus voisi olla käyttökeskeisessä tai terminaalitraktorin hyttisessä? Onko säteily kapseli ongelma kapselin lastaus tilanteessa? Tämä ohjausyyli on mainittu ESAR:ssä

##### 4.6.3 Rajapinnat

Työssä muodostuu seuraavat rajapinnat:  
 - kapselointilaitoksen ohjaamo- siirtotrukin ohjausjärjestelmä

Kuva 14. Esimerkkikuva tekstimuotoisesta prosessikuvauksesta.

Koko loppusijoituskapselin käsittelyprosessin halutussa laajuudessa käytiin läpi vastaavalla tavalla.

## 5.2 Automaatiokonseptin kartoitus ja arviointi

Työn aikana kävi selväksi, että tekstimuotoinen prosessikuvaus ei ole paras tapa peräjälkeen ja samanaikaisesti tapahtuvien toimintojen kuvaamiseen loogisesti ja havainnollisesti. Parhaaksi tavaksi löytää eri toiminnot prosessista oli prosessiosien pilkkominen pienempiin alakohtiin ja niiden vienti Excel-taulukkoon.

Rajatun laajuuden automaatiokonseptin arviointiin ja kartoittamiseen tarkoitettun sopivan metodin löytäminen osoittautui myös vaikeaksi. Suoraan tehtävään sopivaa, käyttökelpoista, yksinkertaista ja ilman koulutusta käyttöönotettavaa metodologia ei löytynyt. Sopivaa metodologia kartoitettaessa testattiin muun muassa QFD-, RAMS-, ynnä muita malleja sekä puhdasta vaatimusmäärittelyä, mutta niistä ei ollut mahdollista saada selkeää pakettia, jonka olisi voinut suoraan käyttöönottaa työssä. Vaatimusten tunnistamiseen parhaaksi tavaksi osoittautui projekteissa työskennelleiden henkilöi-



den haastattelu ja konseptin arviointi ns. konseptin kartoitus- ja arviointitavalla. Kyseinen metodi löytyi VTT:n tekemästä raportista, ja se todettiin käyttökelpoiseksi ja sopivaksi tehtävään kartoitus- ja arviointityöhön.

Työhön valittu tapa kartoittaa ja arvioida konseptia, perustuu kirjassa Product Design and Development (Ulrich&Eppinger 2008,130-132) esiteltyyn konseptiarviointi metodiin. Tässä metodissa arvioidaan eri konseptien taso ensin karkealla tasolla ja pyritään karsimaan pois selvästi sopimattomat konseptit.

Konseptin kartoituksessa ja arvioinnissa automaatiotason määrittämiseksi ovat sarakkeet: manuaali, semiautomaatti ja automaatti. Niissä on arvioitu automaatiotasoa asteikolla 0-1-2, jossa 0 = ei mahdollinen, 1=Mahdollinen, ei testattu ja todennettu, 2= Toteutettavissa ja tekniikka testattu ja todennettu.

Haastattelutyön tulokset kirjattiin samaan edellä mainittuun Excel -taulukkoon, johon kerättiin haastattelemalla saatu arvio soveltuvasta automaatiotasosta, sekä ohjaus- ja valvontajärjestelmän vaatimuksista. Tästä taulukosta syntyi automaatiokonseptin kartoitus ja arviointi.

Konseptin kartoituksessa ja arvioinnissa on sarakkeina seuraavat asiat:

- alkuperäisen prosessikuvauksen kohta, esimerkiksi LST\_KS\_3,
- alikohta, LST\_KS\_3\_1 Kapselin lastaus siirtotrukkiin,
- välivaihe, Kapseli lastataan siirtotrukin kyytiin kapselointilaitoksella,
- Laite, mitkä laitteet osallistuvat, esimerkiksi siirtotrukki+ kapselointilaitoksen järjestelmät
- Rajapinnat, mitä rajapintoja eri laitteiden ja järjestelmien välille muodostuu, esim. kapselointilaitoksen ohjaamo- siirtotrukin ohjausjärjestelmä
- Manuaali, arvioitiin manuaalitoiminnon soveltuvuutta kyseiseen toimintoon asteikolla 0-1-2
- Semiautomaatti, arvioitiin semiautomaattisen toiminnon soveltuvuutta kyseiseen toimintoon asteikolla 0-1-2
- Automaatti, arvioitiin täysin automaattisen toiminnan soveltuvuutta kyseiseen toimintoon asteikolla 0-1-2



näisesti lyhyitä toimintasarjoja, joiden jälkeen etenemisen hyväksyy operaattori.

- Automaatti: Automaattinen on toimintamalli, jossa operaattori antaa laitteelle käskyn aloittaa toiminnan ja tämän jälkeen laite tekee työn täysin itsenäisesti, ilman sekvenssin välihyväksyntää.

Tarkemmin prosessia, jolla arviointi tehtiin, käydään läpi Haastattelujen suunnittelu -kohdassa.

### 5.2.2 Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimukset

Ylemmän tason ohjauksella ja valvonnalla työssä tarkoitetaan ohjauksen tai valvonnan ominaisuuksia, jotka eivät ole koneen/laitteen oman ohjausjärjestelmän tarvitsemia tai toteuttamia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kapselin asennuksen laadunvalvontajärjestelmä. Kone pystyy kapselin asentamaan ilman tätä järjestelmää, mutta loppusijoituksen laadun varmistamiseksi järjestelmä tarvitaan.

Ohjaus- ja valvontajärjestelmien vaatimuksia kerättiin haastatteluiden yhteydessä sarakkeeseen Ohjaus/valvontajärjestelmän vaatimuksia. Tarkempi selvitys, miten vaatimuksia pyrittiin tunnistamaan, löytyy kappaleesta 6.2 Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimusten selvittäminen.

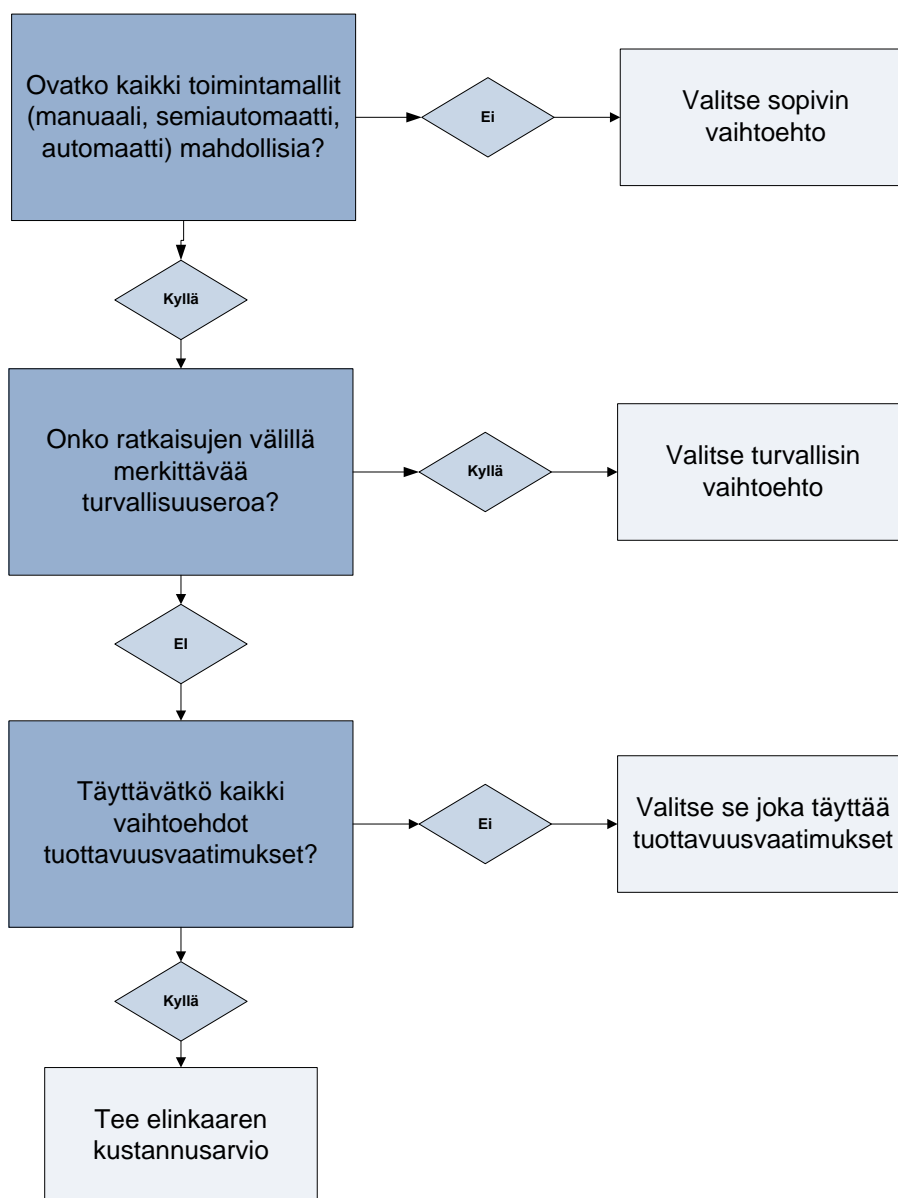
## 6 HAASTATTELUJEN SUUNNITTELU

Kapselin käsittelyprosessin prosessikuvauksen laadinnan ja automaatiokonseptin kartoitus- ja arviointityön suunnittelun jälkeen työn seuraavassa vaiheessa, vaiheessa kaksi, haastateltiin jokaisen prosessiosan projektipäällikköä sekä suunnittelusta vastanneen yrityksen suunnittelijaa. Seuraavana alla on esitetty prosessi ja haastattelutapa, jolla pyrittiin tunnistamaan ohjaus/valvontajärjestelmän vaatimuksia sekä määrittämään automaation taso kyseisessä toiminnossa.

Haastatteluihin oli varattu aikaa noin neljä tuntia. Haastatteluiden pohjana käytettiin konseptin kartoitus- ja arviointitaulukkoa sekä kirjallista prosessikuvausta kyseessä olevasta prosessin vaiheesta. Materiaalit toimitettiin etukäteen haastateltaville ja henkilöitä pyydettiin tutustumaan niihin.

### 6.1 Automaatiotason määrittäminen haastatteluissa

Automaatiotason määrittämiseksi luotiin alla olevan kuvan kaltaiset kysymykset ja siirtymäehdot niihin (kuva 16).



Kuva 16. Automaatiotason määrittämisen kysymykset

Jokainen konseptin kartoitus- ja arviointitaulukon toiminto käytiin haastatteluissa läpi kysymällä yllä olevan kuvan mukaiset kysymykset. Vastausten perusteella päätettiin kullekin prosessin osan vaihtoehdolle parhaiten sopiva vaihtoehto (manuaali, semiautomaatti, automaatti).

## 6.2 Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimusten selvittäminen

Ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimusten tunnistaminen aloitettiin tutustumalla prosessista laadittuihin raportteihin, kuten Canister Production Line 2012 sekä Laitoskuvaus 2012. Näissä raporteissa on kuvattu menetelmiä, joita voidaan kuvailla ylemmän tason ohjauksen tai valvonnan vaatimuksiksi, kuten kapselin pinnan tarkastus NDT- menetelmällä kapselin asennuksen yhteydessä.

Haastatteluiden yhteydessä pyrittiin tunnistamaan myös ylemmän tason ohjauksen ja valvonnan vaatimuksia seuraavilla kysymyksillä:

- Mitä tulee ohjata, jotta työ tulee tehdyksi?
- Mitä tulee valvoa, jotta työ tulee hyväksytyksi?

Näihin kysymyksiin pyrittiin löytämään vastaus toimintokohtaisesti haastatteluissa.

## 7 HAASTATTELUJEN TOTEUTUS JA TULOKSET

Kappaleen sisältö on luottamuksellinen ja se käsitellään luottamuksellisessa liitteessä 2.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kappaleen sisältö on luottamuksellinen ja se käsitellään luottamuksellisessa liitteessä 2.

## LÄHTEET

Lakka A, Laurikka P & Vainio M. 1995. Asiakaslähtöinen suunnittelu QFD rakentamisessa. Tampere: VTT.

Posivan www-sivut. 2015. Viitattu 15.11.2015. <http://www.posiva.fi>

Kapselointilaitoksen prosessin kuvaus ja analysointi v. 2013, Posivan sisäinen dokumentti POS-021988

Ahonen T, Jännes J, Kunttu S, Valkokari P, Venho-Ahonen O, Välisalo T, Ellman A, Hietala J-P, Multanen P, Mäkiranta A, Saarinen H & Franssila H. 2012. Käyttövarmuuden hallinta - standardista käytäntöön. Helsinki: VTT

Pönni Minja. 2014. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon prototyypin käyttöohje. Cadrang, Posivan sisäinen dokumentti.

Pönni, M. & Kotliar, L. 2015. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon protolaitteen SAT-testit –demotunneli testit. Posivan sisäinen dokumentti.

Palomäki, J. & Ristimäki, L. 2013. Laitoskuvaus 2012 Kapselointi- ja loppusijoituslaitossuunnitelmien yhteenvetoraportti. Eurajoki: Posiva.

Tanskanen A. 2012. Supplementary Radiation Shielding Calculations for the Final Disposal Facility. Fortum Power and Heat

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008. Product Desing and Development. Singapore: The McGraw- Hill.

## LIITE 1

Kapselin käsittelyn konseptin kartoitus ja arviointi, luottamuksellinen liite.

- 1 HAASTATTELUJEN TOTEUTUS JA TULOKSET  
Luottamuksellinen liite
- 2 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA  
Luottamuksellinen liite